

# **PERENCANAAN KEBIJAKAN PERAWATAN MESIN CNC DI BALAI PENGEMBANGAN TEKNOLOGI TEPAT GUNA YOGYAKARTA**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



**ANTONIUS MARDORA PRANADESTYA**

**16 06 08864**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

PERENCANAAN KEBIJAKAN PERAWATAN MESIN CNC DI BALAI PENGEMBANGAN  
TEKNOLOGI TEPAT GUNA YOGYAKARTA

yang disusun oleh

ANTONIUS MARDORA PRANADESTYA

160608864

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 27 Januari 2021

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: B. Laksito Purnomo, S.T.,M.Sc., IPM, Asean Eng, CSCA	Telah menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: B. Laksito Purnomo, S.T.,M.Sc., IPM, Asean Eng, CSCA	Telah menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: B. Laksito Purnomo, S.T.,M.Sc., IPM, Asean Eng, CSCA	Telah menyetujui
Penguji 2	: Dr. Yosephine Suharyanti, S.T., M.T.	Telah menyetujui
Penguji 3	: Kristanto Agung Nugroho, S.T., M.Sc.	Telah menyetujui

Yogyakarta, 27 Januari 2021

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Fakultas Teknologi Industri

Dekan

ttd

Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc

## PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Antonius Mardora Pranadestya

NPM : 16 06 08864

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya dengan judul "Perencanaan Kebijakan *Maintenance* Mesin CNC Di Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna (BPTTG)" merupakan hasil penelitian saya pada Tahun Akademik 2019 / 2020 yang bersifat original dan tidak mengandung plagiasi dari karya manapun.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar – benarnya.

Yogyakarta, 27 Januari 2021

Yang Menyatakan



Antonius Mardora Pranadestya

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**“dan bergembiralah karena TUHAN: maka Ia akan memberikan kepadamu apa yang diinginkan hatimu”**

**Mazmur 37:4**

Tugas Akhir ini dipersembahkan kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus dan Bunda Maria atas penopang dan penyertaan penyelesaian tugas akhir sehingga selalu diberikan kelancaran.
2. Orangtua tercinta Bapak Markus Suprpto, dan Ibu Angela Merici Trina Djajanti atas dukungan, semangat, dan doa yang tiada henti.
3. Adikku tersayang Christella Quinta Pranasita yang selalu menghibur saat pengerjaan tugas akhir.
4. Keluarga besarku yang selalu mendoakan, membantu, dan mendukungku.
5. Sahabatku yang selalu mendoakan, mendukung, dan, menghibur dari awal hingga akhir pengerjaan tugas akhir.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan Tugas Akhir yang berjudul Perencanaan Kebijakan Maintenance Mesin CNC di Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna (BPTTG) dapat terselesaikan dengan baik. terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini tentunya tidak terlepas dari bantuan serta bimbingan berbagai pihak. Ucapan terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Dr. A. Teguh Siswantara, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Ibu Ririn Diar Astanti, S. T., M. T., D.Eng selaku Ketua Departemen Program Studi Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Kristanto Agung Nugroho, S. T., M. Sc selaku Sekretaris Program Studi Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Bapak B. Laksito Purnomo, S.T., M. Sc selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan arahan yang diberikan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Jalu Utomo selaku Operator Mesin CNC BPTTG yang telah membantu dalam bantuan, arahan, bimbingan serta dukungan dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir.
6. Bapak Ardona selaku Pemilik Lab. Inovasi yang telah mengizinkan dalam mendapatkan data pendukung mesin CNC.

Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan dari pembaca untuk kemajuan yang lebih baik. Akhir kata semoga laporan ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, 27 Januari 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

BAB	JUDUL	HAL
	Halaman Judul	i
	Halaman Pengesahan	2
	Pernyataan Originalitas	iii
	Halaman Persembahan	iv
	Kata Pengantar	v
	Daftar Isi	vi
	Daftar Tabel	viii
	Daftar Gambar	x
	Daftar Lampiran	xi
	Intisari	xii
1	Pendahuluan	1
	1.1. Latar Belakang	1
	1.2. Perumusan Masalah	2
	1.3. Tujuan Penelitian	2
	1.4. Batasan Masalah	3
2	Tinjauan Pustaka Dan Landasan Teori	4
	2.1. Tinjauan Pustaka	4
	2.2. Perbandingan Penelitian	8
	2.3. Dasar Teori	10
3	Metodologi Penelitian	22
	3.1. Metodologi Penelitian	22
	3.2. Metode Perancangan	24

4	Pengumpulan Dan Pengolahan Data	26
	4.1. Pengumpulan Data	26
	4.2. Pengolahan Data	33
5	Analisis Dan Pembahasan Data	46
	5.1. Penentuan Nilai <i>Reliability, Availability, Downtime</i> (RAD)	46
	5.2. Perbandingan Nilai <i>Reliability, Availability, Downtime</i> (RAD)	59
	5.3. Perbandingan Biaya Pemeliharaan	62
	5.4. Kebijakan Perawatan	69
6	Rancangan Implementasi	70
	6.1. Prosedur Perawatan Mesin CNC	70
	6.2. Jadwal Perawatan Mesin CNC	72
	6.3. Lembar Perawatan Mesin CNC	74
7	Kesimpulan Dan Saran	82
	7.1. Kesimpulan	82
	7.2. Saran	83
	Daftar Pustaka	84
	Lampiran	86

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian	8
Tabel 4.1. Mode dan Efek Kegagalan Komponen Kritis	29
Tabel 4.2. Time to Repair (TTR)	30
Tabel 4.3. Time Between Failure Table, Bed, Control Unit, dan Magazine	31
Tabel 4.4. <i>Time Between Failure Coolant</i>	31
Tabel 4.5. <i>Time Between Failure Slideway</i>	32
Tabel 4.6. Biaya Pemeliharaan	33
Tabel 4.7. <i>Information Worksheet</i>	34
Tabel 4.8. <i>Risk Priority Number</i> Tiap Komponen	35
Tabel 4.9. <i>Decision Worksheet</i>	37
Tabel 4.10. Perhitungan MTBF <i>Bed, Table, Control Unit, dan Magazine</i>	42
Tabel 4.11. Perhitungan MTBF <i>Coolant</i>	43
Tabel 4.12. Perhitungan MTBF <i>Slideway</i>	44
Tabel 5.1. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen <i>Bed, Table, Control Unit, dan Magazine</i>	47
Tabel 5.2. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen <i>Coolant</i>	50
Tabel 5.3. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen <i>Slideway</i>	52
Tabel 5.4. <i>Reliability</i> Komponen <i>Bed, Table, Control Unit, dan Magazine</i> Setelah <i>Preventive Maintenance</i>	55
Tabel 5.5. <i>Reliability</i> Komponen <i>Coolant</i> Setelah <i>Preventive Maintenance</i>	57
Tabel 5.6. <i>Reliability</i> Komponen <i>Slideway</i> Setelah <i>Preventive Maintenance</i>	58
Tabel 5.7. Rekapitulasi Biaya Pemeliharaan Total	68
Tabel 5.8. <i>Proposed Task dan Maintenance Interval</i>	69
Tabel 6.1. Prosedur Perawatan Mesin CNC MCV 300	70
Tabel 6.2. Petunjuk Pengisian Lembar Jadwal Perawatan Mesin CNC	72
Tabel 6.3. Jadwal Perawatan Mesin CNC MCV 300	73
Tabel 6.4. Petunjuk Pengisian <i>Checklist</i> Perawatan Harian Mesin CNC	74



Tabel 6.5. Lembar <i>Checklist</i> Perawatan Harian Mesin CNC	75
Tabel 6.6. Petunjuk Pengisian <i>Checklist</i> Perawatan Bulanan/Tahunan Mesin CNC	76
Tabel 6.7. Lembar <i>Checklist</i> Perawatan Bulanan/Tahunan Mesin CNC	77
Tabel 6.8. Lembar Perbaikan Mesin CNC	78
Tabel 6.9. Petunjuk Pengisian Form Perbaikan Mesin	79
Tabel 6.10. Lembar Catatan <i>Failure</i>	80
Tabel 6.11. Petunjuk Pengisian Lembar Catatan <i>Failure</i>	81



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pilar RCM	11
Gambar 2.2. <i>Decision Tree</i>	14
Gambar 2.3. <i>Bathtub Curve</i> (Sumber: Anderson & Neri, 1990:56)	15
Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian	22
Gambar 3.2. Diagram Alir Metode Perancangan	24
Gambar 4.1. CNC FIRST MCV 300	27
Gambar 4.2. <i>Index of Fit Bed, Table, Control Unit, Magazine</i>	39
Gambar 4.3. <i>Goodness of Fit Test Bed, Table, Control Unit, Magazine</i>	39
Gambar 4.4. <i>Index of Fit Coolant</i>	40
Gambar 4.5. <i>Goodness of Fit Test Coolant</i>	40
Gambar 4.6. <i>Index of Fit Slideway</i>	41
Gambar 4.7. <i>Goodness of Fit Test Slideway</i>	41
Gambar 5.1. Kurva Bathtub Komponen <i>Bed, Table, Control Unit, dan Magazine</i>	48
Gambar 5.2. Kurva Bathtub Komponen <i>Coolant</i>	51
Gambar 5.3. Kurva Bathtub Komponen <i>Slideway</i>	53
Gambar 5.4. Grafik Perbandingan Nilai Keandalan Komponen <i>Bed, Table, Control Unit, dan Magazine</i>	59
Gambar 5.5. Grafik Perbandingan Nilai Keandalan Komponen <i>Coolant</i>	60
Gambar 5.6. Grafik Perbandingan Nilai Keandalan Komponen <i>Slideway</i>	61

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rekapitulasi Data Pemeliharaan	86
Lampiran 2. Parameter Severity, Occurrence, Detection	89
Lampiran 3. Spesifikasi CNC First MCV 300	90
Lampiran 4. Spesifikasi CNC Retrofit Lab Inovasi	92
Lampiran 5. Gambar Mesin CNC First MCV 300	94
Lampiran 6: Gambar Mesin CNC Retrofit Lab Inovasi	95
Lampiran 7. Transkrip Wawancara BPTTG	96
Lampiran 8. Transkrip Wawancara Lab Inovasi	98
Lampiran 9. Jasa Perbengkelan Mesin CNC	103



## INTISARI

Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna (BPTTG) merupakan badan pemerintah DIY yang bertanggung jawab sebagai pembina teknis pada bidang teknologi rekayasa di bawah naungan Dinas Perindustrian dan Perdagangan DIY. BPTTG belum memiliki perawatan mesin secara terstruktur. Dasar pemilihan mesin CNC oleh pihak BPTTG untuk dilakukan penelitian adalah harga mesin yang mahal dan intensitas penggunaan mesin yang tinggi. Perencanaan perawatan penting untuk dilakukan karena berkontribusi langsung terhadap kelancaran kegiatan proses produksi dan produktivitas, sehingga kondisi mesin yang bagus akan berpengaruh terhadap kualitas output produk. Perawatan mesin saat ini, hanya berupa *lubrication*, *adjustment*, dan penggantian komponen ketika terjadi kerusakan (*corrective maintenance*). Penelitian ini bertujuan untuk merancang kebijakan perawatan mesin CNC supaya dapat meningkatkan keandalan mesin, dengan menampilkan interval waktu perawatan.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) agar mendapatkan kebijakan perawatan yang ideal. Kebijakan perawatan didasari dari *information worksheet* dan *decision worksheet* yang terdapat pada tahapan RCM II. Perhitungan *mean time between failure* (MTBF) dan *mean time to repair* (MTTR) diperlukan pada masing-masing komponen mesin CNC sehingga dapat ditentukan interval perawatan.

Tindakan usulan komponen mesin CNC terbagi menjadi 8 *scheduled restoration task*, 1 *scheduled discard task*, 5 *scheduled on-condition task*, 1 *scheduled failure finding task*, dan 1 *no scheduled maintenance*. Biaya pemeliharaan keseluruhan yang diperoleh mengalami penghematan dari Rp 20.768,11 / hari, menjadi Rp 18.973,42 / hari.

**Kata kunci:** *maintenance, reliability centered maintenance (RCM)*

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Sejak revolusi industri, pemeliharaan telah menjadi sesuatu yang menarik untuk dilakukan analisis karena faktor-faktor seperti ukuran, biaya, kompleksitas, dan kompetisi (Dhillon, 2002). Pemeliharaan yang bertujuan untuk merawat atau menjaga peralatan supaya berfungsi dengan baik, perlu dilakukan manajemen dan kontrol secara tepat. Kelancaran proses produksi salah satunya bergantung pada pemeliharaan terhadap mesin produksi yang terstruktur. Pemeliharaan yang tidak terstruktur dapat menyebabkan kerugian bagi perusahaan, karena salah satu faktor berhentinya proses produksi adalah kerusakan pada mesin.

Manajemen dan kontrol kegiatan pemeliharaan dapat digunakan untuk memberikan panduan kebijakan untuk kegiatan pemeliharaan. *Preventive maintenance* (PM) merupakan salah satu jenis komponen penting dari aktivitas pemeliharaan yang digunakan perusahaan manufaktur dan jasa. Dhillon (2002) mengungkapkan bahwa PM dapat digambarkan sebagai perawatan dan servis oleh individu yang terlibat dengan pemeliharaan untuk menjaga peralatan / fasilitas dalam kondisi operasional yang optimum dengan menyediakan inspeksi sistematis, deteksi, dan koreksi kegagalan sebelum terjadi kegagalan yang lebih besar.

BPTTG hadir untuk meningkatkan kapasitas dan kualitas produksi pada Industri Kecil Menengah (IKM), sehingga dapat memberdayakan dan memberikan pelayanan pada IKM di Yogyakarta. Kualitas layanan yang diberikan oleh BPTTG terhadap IKM, salah satunya dapat dipengaruhi oleh performansi dari mesin-mesin yang terdapat pada BPTTG. Performansi pada mesin dapat dikendalikan dengan melakukan perawatan secara berkala untuk memelihara dan menjaga mesin sehingga penggunaan mesin dapat berfungsi dengan baik. Jika tidak dilakukan perawatan terhadap mesin yang digunakan, maka memerlukan perawatan perbaikan lebih dan menyebabkan biaya *downtime* yang tak terkendali dan mahal. Perawatan sebelum terjadinya kerusakan perlu diterapkan, agar biaya uang dihasilkan dari perawatan akan lebih kecil daripada biaya perbaikan mesin.

Menurut penurutan Pak Sumantoro, selaku kepala bengkel, perawatan terhadap mesin-mesin proses produksi belum terdapat sistem perawatan mesin secara

terstruktur. Hal tersebut dikuatkan dengan penuturan Pak Nugroho, selaku kepala BPTTG, agar mesin-mesin di BPTTG memiliki sistem perawatan yang terstruktur. Mesin-mesin yang terdapat di BPTTG juga memiliki usia yang sudah tua, dan belum memiliki sistem perawatan yang terjadwal. Hal tersebut dapat mempengaruhi kegiatan proses produksi di BPTTG. Pak Nugroho menyarankan untuk melakukan penelitian mengenai sistem perawatan terhadap mesin CNC di BPTTG. Pemilihan mesin CNC didasari karena harga mesin yang mahal dan intensitas penggunaan mesin yang tinggi. Menurut pendapat Pak Nugroho, penelitian mengenai sistem perawatan mesin CNC diharapkan jika operator mesin CNC yang bekerja saat ini pensiun atau berhenti bekerja, akan menjadi acuan kepada operator mesin CNC yang baru. Perencanaan perawatan penting untuk dilakukan karena berkontribusi langsung terhadap kelancaran kegiatan proses produksi dan produktivitas, sehingga kondisi mesin yang bagus akan berpengaruh terhadap kualitas *output* produk. Perawatan mesin saat ini, hanya berupa *lubrication*, *adjustment*, dan penggantian komponen ketika terjadi kerusakan (*corrective maintenance*). Perawatan mesin terstruktur sendiri dapat meminimumkan kerusakan yang terjadi pada mesin dan dapat menekan penghematan biaya. Kepastian kerusakan mesin produksi memang sulit untuk diprediksi, sehingga sistem perawatan mesin perlu untuk dilakukan, sebagai tindakan *preventive* terhadap kerusakan mesin.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Sistem perawatan mesin yang belum terstruktur di BPTTG akan berpengaruh terhadap keandalan mesin yang digunakan saat proses produksi berlangsung, sehingga perlu dilakukannya perencanaan kebijakan perawatan mesin CNC, sebagai tindakan *preventive* terhadap kerusakan mesin. Penetapan sistem perawatan yang terstruktur terhadap mesin CNC di BPTTG menjadi masalah yang perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Perencanaan kebijakan perawatan mesin CNC di BPTTG memiliki tujuan yang ingin dicapai yaitu merancang kebijakan perawatan mesin CNC supaya dapat meningkatkan keandalan mesin, dengan menampilkan interval waktu perawatan.

#### 1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan yang terdapat pada BPTTG ini terkait evaluasi dan perbaikan proses produksi dibatasi oleh beberapa hal. Batasan masalah yang digunakan adalah:

- a. Interval waktu penelitian terhitung dari bulan Oktober 2019 – Desember 2020.
- b. Mesin yang dianalisis untuk dilakukan penjadwalan perawatan adalah mesin CNC First.
- c. Biaya yang diperlukan untuk perhitungan biaya perawatan yaitu biaya mekanik, komponen, dan biaya kehilangan produksi.
- d. Data kerusakan yang digunakan yaitu data dari periode Maret 2015 sampai dengan Februari 2019.
- e. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Lukmandani dkk (2011) menyebutkan dalam penelitiannya mengenai sistem pemeliharaan di PT. SPINDO yang mengalami kesulitan dalam proses produksinya karena sering mengalami kerusakan pada mesin *ERW/Mill*. Kerusakan pada mesin sulit untuk diprediksi secara tepat, sehingga perawatan yang telah dibuat oleh PT. SPINDO yang awalnya direncanakan setiap 3 dan 4 bulan sekali, tidak berjalan sebagaimana mestinya. Perbaikan pada penjadwalan perawatan mesin dilakukan dalam upaya meminimasi kerusakan pada mesin dengan mengelola data waktu kerusakan mesin dan mencari penyebaran distribusinya dengan menggunakan *FMEA* dan *software statfit*. *Software* tersebut menghasilkan *output* berupa fungsi keandalan, *Mean Time To Failure* (MTTF), dan *downtime*. Berdasarkan data tersebut didapatkan interval data penggantian mesin yang optimal untuk mesin *ERW 3*. Hasil yang didapat terkait penggantian jadwal submesin *uncoiler* yaitu part *bearing-as* diganti setiap 18 hari, *solenoid valve* diganti setiap 201 hari, part *air cylinder* diganti setiap 129 hari dan part rem diganti setiap 170 hari. *Preventive maintenance* yang telah diterapkan dapat menghemat biaya pada submesin *uncoiler*. Pengurangan biaya sebesar 41.5% pada komponen *air cylinder*, pengurangan biaya sebesar 94.6% pada komponen *bearing* dan *as*, serta pengurangan biaya sebesar 7.45% pada komponen *solenoid valve*.

Setiaji dan Johan (2017) dalam penelitiannya mengenai perencanaan penjadwalan perawatan *preventive* pada mesin *duplex* di pabrik kertas yang bergerak di bidang pembuatan kertas kemasan, menemukan permasalahan terhadap *Duplex* bahwa mesin tersebut memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi, yaitu sekitar 125 kali dalam 22 bulan. Penelitian ini ditujukan untuk mengimplementasikan *preventive maintenance* pada mesin *Duplex*, dengan melakukan analisis dengan menentukan komponen kritis pada mesin tersebut. Selanjutnya dilakukan perhitungan *MTTF*, *Cost of Failure* (Cf), dan tingkat keandalan. Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat dilakukan perhitungan biaya perawatan preventif untuk meminimasi biaya yang dikeluarkan terhadap selang



waktu dalam penggantian komponen. Setelah dilakukan *preventive maintenance*, terdapat 3 komponen yang mengalami penurunan biaya perawatan. Penurunan tersebut terjadi pada komponen *bearing* yang terjadi penurunan biaya sebesar 8.30% dengan tingkat keandalan 61%, komponen rantai yang terjadi penurunan biaya sebesar 15.6% dengan tingkat keandalan 62%, dan komponen *unwinder* yang terjadi penurunan biaya sebesar 19.7% dengan tingkat keandalan 61%.

Kirana dkk (2016) dalam penelitiannya yang mengenai perencanaan kebijakan perawatan mesin Corazza FF100, menemukan permasalahan pada mesin Corazza FF100 yang memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sehingga menimbulkan *loss production*. Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dan pemilihan tindakan kegiatan perawatan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah interval waktu perawatan dan pengelompokan kegiatan perawatan sebanyak 67 kegiatan. Penjabaran kegiatan perawatan pada mesin Corazza FF100 yaitu terdapat 31 *scheduled on condition*, 17 *scheduled discard task*, 4 *failure finding*, dan 15 *scheduled restoration task*.

Gupta dkk (2016) dalam penelitiannya menerapkan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengevaluasi mesin bubut konvensional dengan perhitungan RPN. Penelitian ini menerapkan 6 langkah dasar penggunaan metode RCM diantaranya pemilihan dan pengumpulan data kerusakan, *functionally signification item* (FSI), FMEA, *criticality analiysis*, RCM *logic decision*, dan pemilihan strategi perawatan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini berupa penjabaran strategi perawatan pada 6 komponen mesin bubut dan terdapat 14 strategi perawatan. Penjabaran strategi perawatan diantaranya terdapat 4 *corrective maintenance* (CM), 4 *condition based maintenance*, 4 *periodical predictive maintenance*, dan 2 *real time state detection*.

Widyaningsih (2011) dalam tugas akhirnya mengenai penjadwalan *maintenance* pada mesin produksi di PT. Bakrie Building Industries. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), yang bertujuan untuk meningkatkan reliabilitas mesin. Permasalahan tersebut berakibat tentang seringnya kegagalan mesin sehingga menyebabkan rendahnya keandalan mesin. Data yang digunakan adalah data pada tahun 2009 sampai 2010, penelitian dilakukan terhadap 10 *critical part* yang menyebabkan berhentinya mesin saat proses produksi. Hasil analisis penelitian ini menunjukkan

bahwa terjadi peningkatan reliabilitas terhadap lima part setelah dilakukan *preventive maintenance* diantaranya, *Conveyor*, *Wire Cut Off*, *Main Drive*, *Felt*, dan *Duraqual* dan 5 part lainnya, seperti *Pad*, *Stacker 2*, *Stacker 1*, *Trim*, dan Saringan, hanya mengeluarkan biaya tanpa adanya peningkatan reliabilitas sehingga tidak perlu dilakukan pemeliharaan preventif.

Hamdi (2015) dalam tugas akhirnya mengenai perencanaan penjadwalan *maintenance* di PT. BMC yang mengamati mesin *CNC Line Exhaust Manifold*. Permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut yaitu mesin penunjang proses produksi sering mengalami kerusakan. Hal tersebut memberikan dampak yang cukup besar dengan hilangnya waktu proses produksi karena kurangnya ketersediaan mesin. Penelitian ini dilakukan untuk membuat jadwal perawatan komponen kritis dengan kriteria minimasi ongkos menggunakan metode *Age Replacement*. Komponen kritis yang didapat berdasarkan hasil penelitian adalah *Sensor* memiliki persentase sebesar 48.71% dengan frekuensi kerusakan sebanyak 19 kali, dan *Solenoid Valve* memiliki persentase sebesar 19.69% dengan frekuensi kerusakan 16 kali. Hasil akhir yang didapat setelah melakukan berbagai macam pengolahan data adalah interval waktu penggantian kedua komponen. Komponen *Sensor* memiliki interval waktu penggantian setiap 14 hari, dan komponen *Solenoid Valve* memiliki interval waktu penggantian setiap 16 hari. Biaya yang dikeluarkan apabila PT. BMC menerapkan kebijakan tersebut adalah Rp137.199.994 / tahun untuk komponen *sensor*, dan Rp19.646.248 / tahun untuk komponen *Solenoid Valve*.

### **2.1.2. Penelitian Sekarang**

Penelitian sekarang dilakukan di Balai Pengembangan Teknologi tepat Guna (BPTTG) yang terletak di Jalan Kusumanegara, Kec. Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Proses produksi yang terdapat di BPTTG, menurut penuturan Pak Sumantoro selaku kepala bengkel BPTTG dan Pak Nugroho selaku kepala BPTTG, belum memiliki penjadwalan perawatan mesin secara terstruktur dan mesin-mesin yang terdapat pada BPTTG sudah tua. Hal tersebut menyebabkan terganggunya proses produksi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melakukan perencanaan kebijakan perawatan mesin CNC, dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan mesin dan menampilkan interval waktu perawatan yang ideal untuk mesin CNC di BPTTG. Selain itu juga dengan perhitungan diharapkan terjadi penghematan biaya yang dikeluarkan dari

perawatan mesin di BPTTG. Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dengan tools berupa *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), untuk melakukan rekomendasi tindakan korektif dan identifikasi potensi kegagalan.



## 2.2. Perbandingan Penelitian

**Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian**

No	Penulis	Objek Penelitian	Metode Penyelesaian	Hasil Penelitian	Informasi yang Diambil
1	Lukmadani, dkk (2011)	Mesin ERW/Mill	<i>Failure Mode and Effetc Analysis (FMEA) dan Preventive Maintenance</i>	Hasil yang didapat terkait penggantian jadwal submesin uncoiler yaitu part bearing-as diganti setiap 18 hari, solenoid valve diganti setiap 201 hari, part air cylinder diganti setiap 129 hari dan part rem diganti setiap 170 hari.	Penggunaan <i>FMEA</i>
2	Setiaji dan Johan (2017)	Mesin Duplex	<i>Preventive Maintenance</i>	Hasil yang didapatkan terdapat penurunan biaya perawatan pada komponen bearing sebesar 8.30% dengan tingkat keandalan 61%, komponen rantai yang terjadi penurunan biaya sebesar 15.6% dengan tingkat keandalan 62%, dan komponen unwinder yang terjadi penurunan biaya sebesar 19.7% dengan tingkat keandalan 61%.	Perhitungan tiap distribusi kerusakan pada metode <i>preventive maintenance</i>
3	Kirana, dkk (2016)	Mesin Corazza FF100	<i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah interval waktu perawatan dan pengelompokan kegiatan perawatan sebanyak 67 kegiatan. Penjabaran kegiatan perawatan pada mesin Corazza FF100 yaitu terdapat 31 scheduled on condition, 17 scheduled discard task, 4 failure finding, dan 15 scheduled restoration task.	Pemilihan tindakan perawatan dan penentuan interval perawatan

**Tabel 2.1. Lanjutan**

4	Gupta, dkk (2016)	<i>Conventional Lathe Machine</i>	<i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	Hasil yang didapatkan pada penelitian ini berupa penjabaran strategi perawatan pada 6 komponen mesin bubut dan terdapat 14 strategi perawatan. Penjabaran strategi perawatan diantaranya terdapat 4 <i>corrective maintenance (CM)</i> , 4 <i>condition based maintenance</i> , 4 <i>periodical predictive maintenance</i> , dan 2 <i>real time state detection</i> .	Penerapan kriteria risk priority number (RPN)
5	Widyaningsih (2011)	Mesin Produksi Bahan Bangunan	<i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan reliabilitas terhadap lima part setelah dilakukan <i>preventive maintenance</i> diantaranya, <i>Conveyor</i> , <i>Wire Cut Off</i> , <i>Main Drive</i> , <i>Felt</i> , dan <i>Duraqual</i> dan 5 part lainnya, seperti <i>Pad</i> , <i>Stacker 2</i> , <i>Stacker 1</i> , <i>Trim</i> , dan Saringan, hanya mengeluarkan biaya tanpa adanya peningkatan reliabilitas sehingga tidak perlu dilakukan pemeliharaan preventif.	Penggunaan metode RCM
6	Hamdi (2015)	Mesin CNC Line Exhaust Manifold	<i>Age Replacement</i>	Hasil akhir yang didapat setelah melakukan berbagai macam pengolahan data adalah interval waktu penggantian kedua komponen. Komponen Sensor memiliki interval waktu penggantian setiap 14 hari, dan komponen Solenoid Valve memiliki interval waktu penggantian setiap 16 hari. Biaya yang dikeluarkan apabila PT. BMC menerapkan kebijakan tersebut adalah Rp137.199.994/ tahun untuk komponen sensor, dan Rp19.646.248/ tahun untuk komponen Solenoid Valve.	Perhitungan <i>failure cost</i> dan <i>preventive cost</i>

## 2.3. Dasar Teori

### 2.3.1. *Maintenance*

Perawatan melibatkan tindakan untuk mengendalikan atau atau mencegah proses kerusakan yang mengarah pada kegagalan objek yang direkayasa dan mengembalikan objek ke status operasionalnya melalui tindakan korektif setelah terjadinya kegagalan (Ben-Daya dkk, 2016). Perawatan terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *corrective maintenance*, *preventive maintenance* (PM), dan *predictive maintenance* (Dhilon, 2002). Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai pemeliharaan.

#### a. *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan korektif merupakan pemeliharaan yang tidak terjadwal, pada dasarnya terdiri dari kebutuhan perawatan yang tidak dapat diprediksi dan direncanakan berdasarkan kejadian pada waktu tertentu. Tindakan pemeliharaan korektif dapat didefinisikan pula sebagai tindakan perbaikan karena kegagalan yang ditemukan selama PM untuk memperbaiki komponen ke keadaan operasionalnya.

#### b. *Preventive Maintenance*

Tindakan yang dilakukan PM berdasarkan jadwal yang telah direncanakan, baik berkala maupun rutin, untuk menjaga komponen mesin dalam kondisi yang optimum. Tindakan tersebut dilakukan sebagai langkah pencegahan untuk menurunkan kemungkinan kegagalan yang tidak dapat diterima oleh komponen suatu mesin.

#### c. *Predictive Maintenance*

Tindakan pemeliharaan prediktif menggunakan metode pengukuran dan pemrosesan sinyal modern untuk mendiagnosis kondisi komponen mesin secara akurat selama operasi.

### 2.3.2. *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

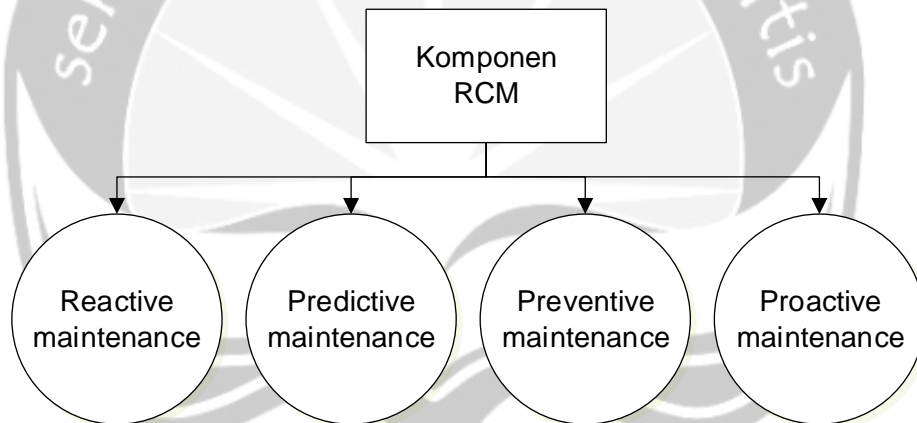
Dhilon (2002) berpendapat bahwa RCM merupakan proses yang sistematis dan dapat digunakan untuk menentukan pencapaian yang harus diraih dengan pasti agar fasilitas fisik dapat dipastikan memenuhi fungsi operasi yang seharusnya terjadi. Strategi *maintenance* yang dimiliki oleh RCM ditujukan untuk mengoptimalkan program pemeliharaan sehingga *asset* dapat beroperasi dengan efektif dan efisien.

Tujuan penting dari penerapan Reliability Centered Maintenance diantaranya:

- a. Mengembangkan prioritas rancangan yang dapat memfasilitasi *preventive maintenance*.
- b. Mengumpulkan informasi yang bermanfaat untuk peningkatan rancangan barang dengan keandalan bawaan yang terbukti tidak memuaskan.
- c. Mengembangkan tugas-tugas terkait *preventive maintenance* yang dapat mengembalikan keandalan dan keselamatan ke tingkat yang melekat jika terjadi penurunan kualitas mesin.
- d. Mencapai ketiga tujuan tersebut dengan total biaya yang minimum.

### 2.3.3. Pilar *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Dhilon (2002) mengungkapkan bahwa RCM memiliki empat pilar utama yang dapat dilihat pada Gambar 2.1, yaitu *reactive maintenance*, *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *proactive maintenance*. Berikut merupakan penjelasan masing-masing pilar RCM.



**Gambar 2.1. Pilar RCM**

#### a. *Reactive Maintenance*

Pendekatan pemeliharaan ini, baik *repair*, *maintenance*, atau *replacement*, terjadi ketika mengalami penurunan kondisi suatu komponen yang menyebabkan *functional failure*. *Reactive maintenance* dapat digunakan secara efektif saat hasil keputusan secara sadar diambil setelah melakukan analisis RCM yang membandingkan resiko dan biaya kegagalan dengan biaya pemeliharaan yang diperlukan untuk mengurangi resiko dan biaya kegagalan tersebut.

b. *Preventive Maintenance*

Pemeliharaan ini disebut sebagai *time driven* atau *interval based maintenance* yang dilakukan saat sudah mengetahui pola kerusakan dan tidak memperhatikan kondisi komponen. PM terdiri dari inspeksi terjadwal berkala, penggantian suku cadang, perbaikan komponen, penyesuaian, *calibration*, *lubrication*, dan *cleaning*. Penggunaan PM menjadi mahal dan tidak efektif ketika tidak menggunakan opsi pemeliharaan lainnya pada suatu mesin.

c. *Predictive Maintenance*

Pemeliharaan ini menilai kondisi dari suatu komponen dengan menggunakan *performance data*, *nonintrusive testing techniques*, dan inspeksi visual. Analisis dari kondisi komponen dilakukan pemantauan secara terus menerus untuk merencanakan dan menjadwalkan perawatan atau perbaikan sebelum terjadi kegagalan.

d. *Proactive Maintenance*

Pemeliharaan proaktif membantu meningkatkan perawatan dengan beberapa tindakan, seperti *design*, *workmanship*, *installation*, *scheduling*, dan *maintenance procedures*. Karakteristik pada pemeliharaan ini yaitu mempraktikkan proses *improvement* berkelanjutan dengan menggunakan komunikasi dan umpan balik untuk memastikan tersedianya perubahan *design* atau prosedur secara efisien. Pemeliharaan proaktif dalam praktiknya perlu melakukan *root cause failure analysis* dan *predictive analysis* untuk meningkatkan efektivitas pemeliharaan, melakukan evaluasi secara berkala terhadap interval perawatan, dan mengintegrasikan fungsi dengan *support maintenance* ke dalam perencanaan program pemeliharaan.

#### **2.3.4. Metodologi *Reliability Centered Maintenance* (RCM)**

Moubray (1977) mengungkapkan bahwa terdapat tujuh langkah implementasi RCM. Berikut merupakan langkah implementasi *Reliability Centered Maintenance*.

- a. Membuat daftar *process functions* dari aset yang dimiliki pada suatu mesin.
- b. Membuat daftar *functional failure* pada masing-masing *process functions* dari aset tersebut.
- c. Membuat daftar *failure modes* dan peluang dari kegagalan pada masing-masing *functional failure* yang telah dibuat.
- d. Membuat deskripsi *failure effect* yang akan terjadi terhadap *failure mode* yang telah dijabarkan sebelumnya.



- e. Menentukan kategori konsekuensi kerusakan dari deskripsi *failure effect*.
- f. Melakukan analisis *failure mode* dan *effect*.
- g. Memilih *maintenance task* dan nilai suatu komponen.

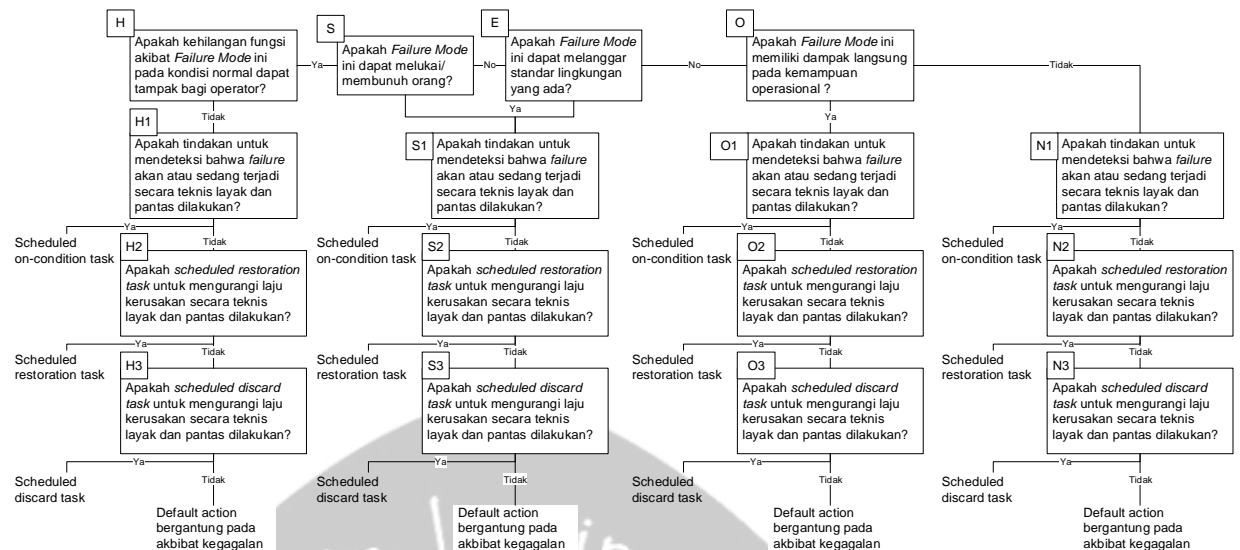
#### **2.3.5. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

Analisis *failure mode* dan *effect* yaitu metode analisis potensi kegagalan sebagai tindakan pencegahan terhadap munculnya kegagalan sistem, sehingga dapat mencegah atau mengurangi resiko yang dihasilkan. Berikut merupakan langkah-langkah dalam menerapkan FMEA.

- a. Membuat daftar komponen kritis pada suatu mesin yang ingin dilakukan analisis lebih lanjut.
- b. Mengidentifikasi potensi masalah pada setiap komponen kritis tersebut.
- c. Mendefinisikan mekanisme penyebab kerusakan (*failure mechanisms*) pada setiap *failure modes*.
- d. Melakukan pemetaan level kemungkinan (*likelihood*) terjadinya kerusakan dengan menggunakan skala dan mendeskripsikan level kemungkinan tersebut.
- e. Melakukan pemetaan level *failure effects* dan mendeskripsikan level *failure effect* tersebut.
- f. Merekomendasikan *recommended actions* untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan.

#### **2.3.6. Decision Tree**

Pemilihan tugas perawatan sesuai dengan kondisi aktual merupakan salah satu hasil dari proses RCM. Pada metode RCM, pemilihan tugas perawatan dijabarkan di *decision worksheet*. Pengisian *worksheet* tersebut didasari oleh *decision tree* yang terdapat pada buku karya John Moubray. Alur *decision tree* yang diadaptasi dari buku karya John Moubray dibentuk pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2. Decision Tree**

Tindakan perawatan yang dihasilkan berdasarkan *decision tree*, secara garis besar terbagi menjadi beberapa bagian. Berikut merupakan kriteria pemilihan bagian dari *maintenance task* dari *decision tree* diatas.

**a. Scheduled on-condition task**

Pemilihan *maintenance task* ini, biasanya didasari dengan mudahnya memonitori kondisi suatu komponen, sehingga tindakan korektif dan preventive dapat dilakukan sebelum terjadinya kegagalan.

**b. Scheduled restoration task**

Pemilihan *maintenance task* ini, biasanya didasari saat kondisi suatu komponen perlu dikembalikan pada kondisi optimalnya. Tindakan ini memerlukan pola interval yang cukup untuk dilakukan analisis.

**c. Scheduled discard task**

Pemilihan *maintenance task* ini, biasanya didasari saat kondisi suatu komponen sudah tidak dapat dikembalikan pada kondisi optimalnya. Tindakan ini juga memerlukan pola interval yang cukup untuk dilakukan analisis.

**d. Default action**

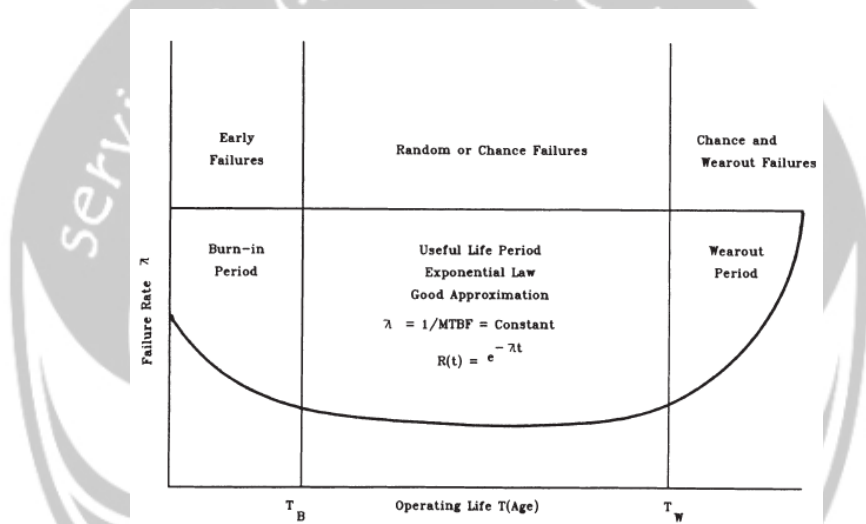
Pemilihan *maintenance task* ini tergantung dari kebijakan operator menyikapi kegagalan yang terjadi. *Default action* terbagi menjadi beberapa, antara lain *redesign of the process or asset*, *scheduled failure finding task*, dan *no scheduled maintenance*.

### 2.3.7. Reliability

Keandalan atau reliabilitas didefinisikan sebagai probabilitas bahwa perangkat, mesin atau sistem akan melakukan fungsi tertentu dalam batas yang diberikan, di bawah lingkungan yang diberikan kondisi, untuk waktu tertentu. Keandalan adalah salah satu karakteristik yang menentukan kualitas dan menjadi faktor penting dalam pemeliharaan suatu peralatan karena saat reliabilitas peralatan rendah berarti memerlukan tingkat perawatan yang tinggi.

### 2.3.8. Kurva *Bathtub*

Kurva *Bathtub* adalah kurva yang digunakan untuk memetakan tingkat kegagalan mesin dalam suatu waktu tertentu yang ditetapkan dalam suatu grafik pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Bathtub Curve* (Sumber: Anderson & Neri, 1990:56)

Pemetaan pada kurva *bathtub* terbagi menjadi dua sumbu, yaitu sumbu X yang mempresentasikan waktu siklus operasi komponen dan sumbu Y yang mempresentasikan laju kerusakan (*failure rate*) suatu komponen dengan selang waktu tertentu. Notasi pada sumbu X yaitu "tp", dan notasi pada sumbu Y yaitu "λ". Penentuan laju kerusakan dapat dihitung dengan membagi *probability density* dan *reliability* suatu komponen.

Kurva *bathtub* membaginya menjadi tiga fase, yaitu:

- Fase pertama adalah **burn in period**, tingkat kegagalan menurun dan dikenal sebagai kegagalan awal. Kegagalan pada fase pertama disebabkan karena *manufacturing defects* (*quality control* buruk, kontaminasi, *workmanship* dibawah standar, *defective parts*). Tindakan pencegahan yang dapat dilakukan

ketika terjadi kegagalan pada fase pertama yaitu dengan *quality control*, uji penerimaan, *screening*, dan *burn-in testing*.

- b. Fase kedua adalah ***useful life period***, tingkat kegagalan konstan dan dikenal sebagai kegagalan acak. Kegagalan pada fase kedua disebabkan karena lingkungan, *human error*, dan *random loads*. Tindakan pencegahan yang dapat dilakukan ketika terjadi kegagalan pada fase kedua yaitu dengan meningkatkan kemampuan suatu sistem agar tetap memiliki fungsi operasional.
- c. Fase ketiga adalah ***wear out period***, tingkat kegagalan yang naik dan dikenal sebagai kegagalan aus. Kegagalan pada fase ketiga disebabkan karena *fatigue*, korosi, usia, gesekan/*friction*, dan *cyclical loading*. Tindakan pencegahan yang dapat dilakukan ketika terjadi kegagalan pada fase ketiga yaitu dengan mengurangi *power rating* dari suatu komponen (*derating*), *preventive maintenance*, penggantian komponen, dan menggunakan technology baru pada suatu mesin.

### 2.3.9. Distribusi Waktu Kerusakan

Penentuan tingkat reliabilitas mesin dilakukan dengan menggunakan penyebaran distribusi. Penyebaran distribusi ditentukan berdasarkan laju kerusakan ( $\lambda$ ) suatu komponen yang tidak konstan sepanjang waktu (Ebeling, 1997). Penentuan distribusi kerusakan digunakan untuk menghitung nilai *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR). Berikut rumus yang sering dipakai dalam masing-masing distribusi:

- a. Distribusi Eksponensial

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (2.3)$$

$$MTBF = MTTR = \beta \quad (2.4)$$

- b. Distribusi Weibull

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \frac{tp^{\beta-1}}{\theta} e^{\left(\frac{-tp}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.5)$$

$$R(t) = e^{-(tp/\theta)^\beta} \quad (2.6)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \frac{tp^{\beta-1}}{\theta} \quad (2.7)$$

$$MTBF = MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.8)$$

c. Distribusi Lognormal

$$Xi = \ln ti \quad (2.9)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (ti - tmed)^2}{n} \times e^{s^2} \times e^{s^2-1}} \quad (2.10)$$

$$tmed = e^{\bar{X}} \quad (2.11)$$

$$f(t) = \frac{1}{st\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{tp}{tmed}\right)^2\right)} \quad (2.12)$$

$$R(t) = 1 - Z \left( \frac{1}{s} \ln \frac{tp}{tmed} \right) \quad (2.13)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.14)$$

$$MTBF = MTTR = tmed \times e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2.15)$$

d. Distribusi Normal

$$Xi = ti \quad (2.16)$$

$$\mu = \frac{\sum Xi}{n} \quad (2.17)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \mu)^2}{n}} \quad (2.18)$$

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (2.19)$$

$$R(t) = 1 - Z \left( \frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.20)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.21)$$

$$MTBF = MTTR = \mu \quad (2.22)$$

Keterangan:

$f(t)$  = fungsi probabilitas waktu kerusakan

$R(t)$  = Fungsi *reliability* (keandalan)

<i>MTBF</i>	= <i>Mean Time Between Failure</i>
<i>MTTR</i>	= <i>Mean Time to Repair</i>
$\lambda$	= Laju kerusakan
$\Gamma$	= Fungsi Gamma
$\beta$	= Parameter bentuk
$\theta$	= Parameter skala
$t$	= Waktu
$e$	= <i>Natural Logarithm</i> ( $e = 2,718282$ )
$\mu$	= <i>Mean of Data</i>
$s$	= Standar Deviasi

#### **2.3.10. Maintainability**

*Maintainability* merupakan kemampuan suatu komponen yang mengalami kerusakan agar dapat dirawat atau diperbaiki sehingga dapat beroperasi kembali seperti keadaan semula dalam periode waktu tertentu dan pemeliharannya dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan sebelumnya (Ebeling, 1997). Formula matematis untuk menentukan *maintainability* berbeda-beda sesuai dengan distribusi data yang dimiliki.

#### **2.3.11. Availability**

*Availability* adalah probabilitas suatu komponen melakukan fungsi yang diperlukan pada periode waktu tertentu ketika sedang dioperasikan dan dipelihara sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan sebelumnya (Ebeling, 1997). Berikut merupakan persamaan sistematis dalam menentukan nilai *availability*.

$$A(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.23)$$

#### **2.3.12. Uji Goodness of Fit**

Uji *goodness of fit* digunakan untuk menilai kecocokan data yang dikumpulkan dengan model distribusi yang telah dilakukan (Ebeling, 1997). Uji tersebut membandingkan hipotesis nol ( $H_0$ ) dengan hipotesis alternatif ( $H_1$ ), dimana:

$H_0$  = Waktu kegagalan datang dari distribusi yang ditentukan.

$H_1$  = Waktu kegagalan tidak datang dari distribusi yang ditentukan.

Uji *goodness of fit* dalam penggunaannya menghitung data statistik berdasarkan sampel dari waktu kegagalan. Data statistik tersebut kemudian dibandingkan dengan *critical value* yang bergantung pada *level significance* dan ukuran sampel.

Secara umum, jika uji statistik kurang dari *critical value*, maka H0 diterima, dan jika uji statistik lebih dari *critical value*, maka H1 diterima.

Pada uji *goodness of fit* terdapat dua jenis, yaitu *general test* yang melakukan pencocokan lebih dari satu distribusi dan *specific test* yang melakukan pencocokan untuk satu jenis distribusi. *General test* dapat menggunakan uji *chi-square goodness-of-fit*, dan *specific test* untuk mencocokkan dengan distribusi kerusakan normal, lognormal, eksponensial, dan weibull.

### 2.3.13. Waktu Penggantian

Penggantian mesin suatu perusahaan perlu untuk diatur sedemikian rupa dengan melakukan pemilihan alternatif antara mempertahankan penggunaan mesin yang sudah ada dan sedang digunakan, dengan penggunaan mesin tipe yang sama dengan model yang lebih baru, melakukan subkontrak mesin, dan mempertimbangkan dengan tenaga manusia. Tujuan dilakukannya penggantian diantaranya:

- a. Meminimumkan total biaya perawatan
- b. Memaksimumkan keuangan
- c. Meminimumkan *downtime*
- d. Memaksimumkan *availability*

Minimasi *downtime* perlu dilakukan dengan menggunakan model data interval atau umur penggantian komponen mesin dari kerusakan. Model tersebut bertujuan agar waktu penggantian yang optimal dapat ditentukan sehingga total *downtime* dapat diminimalisir. Persamaan sistematis untuk mengetahui nilai *downtime* sebagai berikut.

$$D(tp) = \frac{Tp \times R(tp) + Tf \times (1 - R(tp))}{(tp + Tp) \cdot R(tp) + (M(tp) + Tf) (1 - R(tp))} \quad (2.24)$$

Keterangan:

- $T_p$  =  $\sum$  *time* untuk pemeliharaan preventif  
 $T_f$  =  $\sum$  *time* untuk pemeliharaan kegagalan  
 $R(t_p)$  = nilai keandalan  
 $M(t_p)$  = nilai *maintainability*  
 $t_p$  = Waktu operasi  
 $D(t_p)$  = *Total Downtime at the moment to  $t_p$*

#### 2.3.14. Reliabilitas *Preventive Maintenance*

Peningkatan reliabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan *preventive maintenance*, yang dapat mengurangi efek penuaan dan *wearout* pada suatu sistem. Model reliabilitas berikut mengasumsikan bahwa suatu sistem kembali sesuai kondisi aslinya setelah dilakukan *preventive maintenance*. Penentuan probabilitas interval waktu optimal ( $R(T)^n$ ), dan penentuan probabilitas terhadap waktu  $t-nT$  yang *surviving* melewati *preventive maintenance* terakhir ( $R(t-nT)$ ) memiliki persamaan yang berbeda tergantung dari pola distribusi kerusakan yang telah diketahui. Model matematis tersebut dibentuk melalui persamaan sebagai berikut.

a. Distribusi Eksponensial

$$R(T)^n = e^{-\lambda T^n} \quad (2.25)$$

$$R(t-nT) = e^{-\lambda (tp - nT)} \quad (2.26)$$

b. Distribusi Weibull

$$R(T)^n = \left( e^{-\left(\frac{T}{\theta}\right)^\beta} \right)^n \quad (2.27)$$

$$R(t-nT) = e^{-\left(\frac{tp - nT}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.28)$$

c. Distribusi Lognormal

$$R(T)^n = \left( 1 - Z \left( \frac{1}{s} \left( \ln \frac{T}{t_{med}} \right) \right) \right)^n \quad (2.29)$$

$$R(t-nT) = 1 - Z \left( \frac{1}{s} \left( \ln \frac{tp - nT}{t_{med}} \right) \right) \quad (2.30)$$

d. Distribusi Normal

$$R(T)^n = \left( 1 - Z \left( \frac{T - \mu}{\sigma} \right) \right)^n \quad (2.31)$$

$$R(t-nT) = 1 - Z \left( \frac{(tp - nT) - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.32)$$

Perhitungan yang perlu dilakukan selanjutnya yaitu penentuan nilai keandalan setelah dilakukannya *preventive maintenance*. Model matematis dapat dilihat melalui persamaan sebagai berikut.



$$R_m(t) = R(T)^n (R(t-nT)) \quad (2.33)$$

Keterangan:

$R(t)$  = Nilai keandalan sebelum *preventive maintenance*

$T$  = Interval waktu pada *preventive maintenance*

$R(T)^n$  = Probabilitas *surviving*  $n$  interval waktu perawatan optimal

$R(t-nT)$  = Probabilitas terhadap waktu  $t-nT$  yang *surviving* melewati *preventive maintenance* terakhir

$R_m(t)$  = Nilai keandalan setelah *preventive maintenance*

### 2.3.15. Biaya Maintenance

Perawatan terhadap suatu mesin sebaiknya dilakukan secara terstruktur, perawatan yang dilakukan terus menerus akan mengakibatkan peningkatan biaya, dan sebaliknya mesin yang tidak pernah dilakukan perawatan akan menyebabkan berkurangnya performansi dan biaya produksi akan terjadi peningkatan. Pola perawatan yang optimal perlu dilakukan agar dapat menyeimbangkan biaya perawatan dengan biaya kerusakan.

*Preventive cost* adalah biaya yang disebabkan karena perawatan mesin yang dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan sebelumnya. *Failure cost* adalah biaya yang disebabkan karena kerusakan yang terjadi tidak terduga, sehingga menyebabkan mesin berhenti dan proses produksi tidak bisa dilakukan kembali. Secara matematis biaya total ditujukan untuk menentukan interval waktu perawatan yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Jardine & Tsang, 2006).

$$T_{cf} = \frac{C_f}{MTBF} \quad (2.34)$$

$$T_{cp} = \frac{C_p \cdot R(tp) + C_f (1 - R(tp))}{tp \cdot R(tp) + MTBF (1 - R(tp))} \quad (2.35)$$

Keterangan:

$C_p$  = Biaya satu siklus *preventive*

$C_f$  = Biaya satu siklus *failure*

$T_{cf}$  = Biaya total sebelum perawatan *preventive*

$T_{cp}$  = Biaya total perawatan *preventive*

$R(tp)$  = Nilai reabilitas

$MTBF$  = *Mean Time Between Failure*

$tp$  = Waktu siklus

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

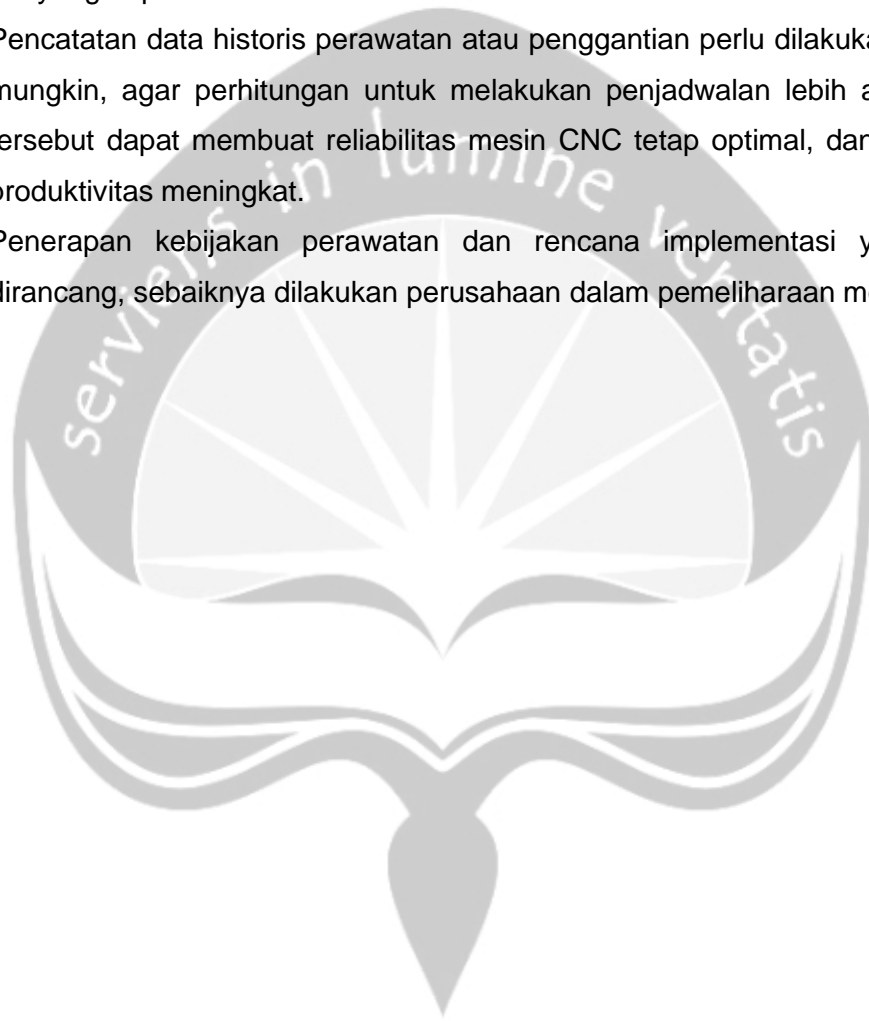
- a. Komponen kritis yang ditentukan oleh Pak Jalu Utomo melalui *brainstorming* adalah komponen *spindle*, *magazine*, *control unit*, *slideway*, *coolant*, *bed*, dan *table*.
- b. Interval pemeliharaan optimal mesin CNC melalui perhitungan sistematis diperoleh 290 hari untuk komponen *magazine*, *control unit*, *bed*, *table*; 85 hari untuk komponen *slideway*; dan 56 hari untuk komponen *coolant*.
- c. Interval pemeliharaan optimal mesin CNC melalui pendekatan mesin sejenis diperoleh 1.5 bulan untuk pelumasan *spindle* dengan menggunakan *scheduled on-condition task*, 3 tahun untuk penggantian *bearing spindle* dengan menggunakan *discard task*.
- d. *Maintenance task* komponen *magazine* ditetapkan menggunakan *scheduled restoration task* dengan melakukan pengecekan poros motor dan kopling; serta pengecekan cincin penjepit.
- e. *Maintenance task* komponen *control unit* ditetapkan menggunakan *no scheduled maintenance* dengan melakukan stabilisasi listrik, dan menggunakan *scheduled failure finding task* dengan melakukan pengecekan relay.
- f. *Maintenance task* komponen *slideway* ditetapkan menggunakan *scheduled on-condition task* dengan melakukan *cleaning* dan pelumasan rel *slideway*; dan menggunakan *scheduled restoration task* dengan melakukan *adjustment* pada *slideway gibs*.
- g. *Maintenance task* komponen *coolant* ditetapkan menggunakan *scheduled restoration task* dengan melakukan *cleaning* pada filter *coolant*, pengecekan katup *coolant*, dan *cleaning katup coolant*.
- h. *Maintenance task* komponen *bed* ditetapkan menggunakan *scheduled on-condition task* dengan melakukan pelumasan, dan menggunakan *scheduled restoration task* dengan kalibrasi level *bed*.

- i. *Maintenance task* komponen *table* ditetapkan menggunakan *scheduled on-condition task* dengan melakukan pelumasan, dan menggunakan *scheduled restoration task* dengan kalibrasi *movement* pada *table*.
- j. Biaya pemeliharaan keseluruhan yang diperoleh mengalami penghematan dari Rp17.727,16 / hari, menjadi Rp15.099,22 / hari.

## 7.2. Saran

Saran yang dapat diberikan adalah:

- a. Pencatatan data historis perawatan atau penggantian perlu dilakukan sedetail mungkin, agar perhitungan untuk melakukan penjadwalan lebih akurat. Hal tersebut dapat membuat reliabilitas mesin CNC tetap optimal, dan membuat produktivitas meningkat.
- b. Penerapan kebijakan perawatan dan rencana implementasi yang telah dirancang, sebaiknya dilakukan perusahaan dalam pemeliharaan mesin CNC.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R.T. & Neri L. (1990). *Reliability Centered Maintenance (RCM): Management and Engineering Methods*. Springer Netherlands: USA.
- Ben-Daya, M., Kumar, U. , Murthy, D. N. P. (2016). *Introduction to maintenance engineering: modelling, optimization and management*. John Wiley & Sons: UK.
- Chénjiāpèi (2004), *First Operator's Manual MCV 300 Fanuc*. Long Chang Machinery Co., Ltd. Taiwan.
- Dhillon, B.S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press LLC: USA.
- Ebeling, C.E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. United States of America: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Gupta, G, Mishra, P., Singhvi, P. (2016). An Application of Reliability Centered Maintenance Using RPN Mean and Range on Conventional Lathe Machine. *International Journal of Reability: Quality and Safety Engineering*, 23(6), 1-10.
- Hamdi, M. (2018). Analisis Perencanaan Penjadwalan Maintenance Pada Mesin CNC Line Exhaust Manifold Menggunakan Model Age Replacement di PT. BMC. Jakarta (ID): Universitas Darma Persada.
- Jardine, A.K.S., Tsang, A.H.C. (2006). *Maintenance, Replacement, and Reliability Theory and Application* (2nd ed). CRC Press: New York.
- Kirana, U.T., Alhilman, J., Sutrisno (2016). Perencanaan Kebijakan Perawatan Mesin CORAZZA FF100 Pada Line 3 PT XYZ dengan Metode Reability Centered Maintenance (RCM) II. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 3(1), 47-53.
- Lukmandani, A, Santosa, H., Maukar, A.L. (2011). Penjadwalan Perawatan di PT. Steel Pipe Industry Of Indonesia. *WIDYA TEKNIK*, Vol. 10, No 1, 103-116.

- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenance* (2nd ed.). Industrial Press Inc: New York.
- Sekaran, U. and Bougie, R. (2016). *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach*. Wiley: UK.
- Setiaji, G. and Johan. (2017). Perencanaan Penjadwalan Perawatan Preventif Pada Mesin Duplex di Pabrik Kertas. *Journal of Industrial Engineering*, 2(2), 117-128.
- Widyaningsih, S A. (2011). "Perancangan Penjadwalan Pemeliharaan Pada Mesin Produksi Bahan Bangunan Untuk meningkatkan Keandalan Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)". Depok (ID): Universitas Indonesia.



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Rekapitulasi Data Pemeliharaan

No	Tanggal Pemeliharaan	Pemelihara/ Supplier	Jenis Pemeliharaan	Biaya Pemeliharaan	Keterangan
1	17 Maret 2015	BINA MEKANIKA TEKNIK	Service Berkala	Rp 2,500,000.00	- Levelling Mesin - Cleaning Axis X, Y, Z - Cek akurasi X, Y, Z - Cek Lubrication - Cek ATC sistem - Cleaning lubrication box
2	18 Maret 2015	UD. MAYAR	Collant 10 L	Rp 600,000.00	
3	18 Maret 2015	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
4	19 Maret 2015	DEPOT BBM	Oli 35 L	Rp 1,225,000.00	Rp 35,000.00
5	20 Januari 2016	BINA MEKANIKA	Oli Slide Way 40 L	Rp 3,000,000.00	
			Coolant 40 L	Rp 3,600,000.00	
6	14 Maret 2016	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
7	04 April 2016	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
8	27 Mei 2016	BINA MEKANIKA TEKNIK	Service Berkala	Rp 2,800,000.00	- Cek Level (Rp 350.000,00) - Service pompa oli pelumas (Rp 700.000,00) - Cek Axis X, Y, Z (Rp 700.000,00) - Cleaning Axis X, Y, Z (Rp 350.000,00) - Cek Bearing Axis X, Y, Z (Rp 700.000,00)
9	27 Mei 2016	GLOBAL SARANA TOOLSINDO	Arbor Drill Chuk APU 13	Rp 1,800,000.00	
			Arbor BT 40 GR 25	Rp 5,400,000.00	3 pcs
			Kontraktor 380V	Rp 3,000,000.00	
10	18 Juli 2016	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
11	12 Agustus 2016	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
12	23 Desember 2016	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
13	03 April 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
14	12 Mei 2017	CV. GLOBAL SARANA TOOLSINDO	Oli 40 L	Rp 19,095,890.00	Rp 6,186,850.00
			Coolant 80 L		Rp 6,545,440.00

			Endmill 1-12 mm 1 set		Rp 3,181,800.00
			Ballnose 1-12 mm 1 set		Rp 3,181,800.00
15	15 Mei 2017	ANUGERAH PRATAMA	Service Berkala	Rp 3,000,000.00	- Cek dan setting level mesin (Rp 500.000,00) - Kuras tangki oli slide dan sirkulasi (Rp 250.000,00) - Cek dan setting akurasi Axis X, Y, Z (Rp 1.500.000,00) - Cek elektrik (Rp 750.000,00)
16	17 Mei 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
17	17 Mei 2017	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
18	03 Juli 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
19	15 Agustus 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
20	27 September 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
21	26 Oktober 2017	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
22	13 November 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
23	27 Desember 2017	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
24	08 Januari 2018	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
25	08 Februari 2018	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
26	28 Maret 2018	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
27	05 April 2018	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
28	14 Mei 2018	ANUGERAH PRATAMA	Service Berkala	Rp 3,000,000.00	- Cek dan setting level mesin (Rp 500.000,00) - Kuras tangki oli slide dan sirkulasi (Rp 250.000,00) - Cek dan setting akurasi Axis X, Y, Z (Rp 1.500.000,00) - Cek elektrik (Rp 750.000,00)
29	17 Mei 2018	CV. GLOBAL SARANA TOOLSINDO	Oli Slide Way 80L	Rp 6,545,440.00	
			Coolant 40 L	Rp 3,272,720.00	

			Handweel 1 set	Rp 9,122,720.00	
			Van Belt 1 unit	Rp 1,353,620.00	
30	12 Juni 2018	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
31	30 Juli 2018	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
32	23 Agustus 2018	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
33	05 November 2018	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
34	18 Desember 2018	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
35	25 Januari 2019	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
36	20 Februari 2019	ANUGRA PRATAMA	Service Berkala	Rp 3,000,000.00	- Cek dan setting level mesin (Rp 500.000,00) - Kuras tangki oli slide dan sirkulasi (Rp 250.000,00) - Cek dan setting akurasi Axis X, Y, Z (Rp 1.500.000,00) - Cek elektrik (Rp 750.000,00)
37	21 Februari 2019	CV. GLOBAL SARANA TOOLSINDO	Oli Slide Way 80L	Rp 6,544,000.00	
			Coolant 40 L	Rp 3,272,000.00	
			End Mill 1 set	Rp 3,181,800.00	
			Ballnose 1 set	Rp 3,181,800.00	
38	18 Maret 2019	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
39	15 April 2019	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
40	06 Mei 2019	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
41	01 Juli 2019	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
42	19 Agustus 2019	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance
43	19 September 2019	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
44	02 Desember 2019	BPTTG	Lubrication Coolant		Preventive Maintenance
45	18 Desember 2019	BPTTG	Adjustment Slideway		Preventive Maintenance



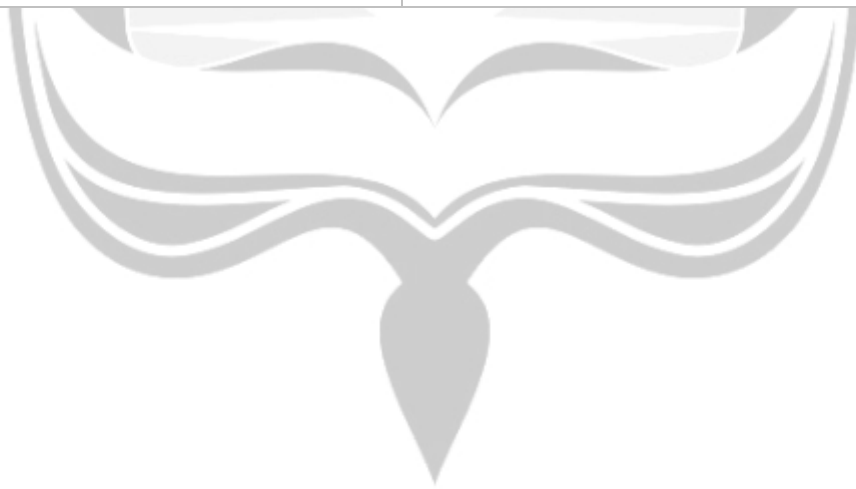
## Lampiran 2. Parameter Severity, Occurrence, Detection

Parameter Severity		
Efek	Rangking	Kriteria
Efek tidak penting	1	Perbaikan minor atau tidak perlu dilakukan perbaikan
Efek yang sangat ringan	2	Diperbaiki langsung oleh operator
Efek ringan	3	Diperbaiki langsung oleh ahli mesin (pemelihara)
Efek minor	4	Komponen dapat rusak secara bertahap jika tidak diperbaiki
Efek menengah	5	Komponen tidak dapat menjalankan fungsinya, tetapi pemeliharaan terhadap kegagalan tidak menuntut mesin untuk berhenti
Efek signifikan	6	Pemeliharaan membutuhkan penghentian mesin selama $\leq 1$ hari
Efek mayor	7	Pemeliharaan membutuhkan penghentian mesin lebih dari 1 hari
Efek ekstrim	8	Mesin harus diberhentikan dan membutuhkan waktu perbaikan lebih lama dibandingkan efek minor
Efek serius	9	Kegagalan mengganggu keseluruhan fungsi sistem
Efek berbahaya	10	Menyebabkan kerusakan terhadap orang atau properti lain
Parameter Detection		
Deteksi	Rangking	Kriteria
Hampir Pasti	1	100% inspeksi secara otomatis terhadap kecacatan atau kegagalan
Sangat Tinggi	2	Hampir 100% inspeksi secara otomatis terhadap kecacatan atau kegagalan
Tinggi	3	Sebagian besar kegagalan diidentifikasi secara otomatis dan terkadang diidentifikasi secara manual
Cukup Tinggi	4	Kegagalan dapat diidentifikasi langsung oleh operator
Menengah	5	Kegagalan diidentifikasi oleh ahli mesin (pemelihara)
Rendah	6	100% inspeksi dan pengamatan secara manual
Sangat Rendah	7	Kegagalan diidentifikasi oleh timbulnya suara abnormal
Kecil	8	Kegagalan diidentifikasi dengan melakukan beberapa tes dan bukan hanya dengan inspeksi langsung
Sangat Kecil	9	Kegagalan diidentifikasi hanya dengan random test atau test tidak langsung
Hampir tidak mungkin	10	Kegagalan tidak mungkin diidentifikasi oleh operator atau ahli mesin
Parameter Occurrence		
Rangking	Tingkat Kegagalan	
1	Tanpa kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
2	1 atau 2 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
3	3 atau 4 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
4	5 atau 6 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
5	7 atau 8 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
6	9 atau 10 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
7	10 atau 11 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
8	12 atau 13 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
9	13 atau 14 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	
10	Lebih dari 15 kegagalan dalam 2 tahun terakhir	

### Lampiran 3. Spesifikasi CNC First MCV 300

MODEL	MCV300		
Travel			
X-Axis	610 mm(24")		
Y-Axis	305 mm(12") / 355 mm(14") OP		
Z-Axis	460 mm(18.1")		
Spindle nose to table	70 - 530 mm(2.8-20.9")		
Table			
Table size	700 mm x 308 mm(27.6-12.1") / 700 x 350 mm (27.6-13.78") OP		
Floor to table	835 mm(32.9")		
Max. table loading capacity	350 kgs(770Lbs)		
T-slot (no x Width x Pitch)	4/5(OP) x 16mm x 63.5 mm ( 4/5(OP) x 0.6 x 2.5" )		
Spindle center to column	415 mm(16.3")		
Feed system			
Rapid traverse speed	X/Y: 20 M/min ( 787.4"/min) , Z:18 M/min (708.7"/min)		
Feed motor(FANUC)	X/Y: 1.2kW (8Nm) , Z: 1.8kW (12Nm)		
Ball screw diameter & pitch	32 mm / 10mm (1.3" / 0.4")		
Cutting feedrate	1-10,000 mm/min (0.04 - 393.7")		
Type of transmission	Direct Drive		
Spindle			
Type of tool shank	BT 40 / CAT 40 / DIN 69871A		
Max. spindle speed	8,000 rpm / 10,000 rpm (Op)		
Spindle motor	5.5 / 7.5 kW / 7.5 / 11 kW (Op)		
Type of transmission	Belt		
ATC			
Tool storage capacity (Arm-Less)	10 tools	16 tools (Op)	24 tools (Op)
ATC type	Armless type		Armless type
Max. tool diameter	120 mm (4.7")	93 mm (3.7")	76 mm (3")
Without adjacent tool	150 mm (5.9")		120 mm (4.7")
Max. tool length	300 mm (11.8")		230 mm (9.1")
Max. tool weight	7 kg (15Lbs)		7 Kg (15Lbs)
Tool changing time (Tool to Tool)	2 sec		3.2 sec
Tool changing time (Chip to Chip)	8.1 sec		5.5 sec

Method of tool selection	By address code	random selection
	bi-directional magazine rotation	
Tool display	None	
Special tool management	Yes (except FANUC 0I-Mate D)	
Coolant system		
Coolant tank size	160 L	
Coolant capacity	150 L / min	
Chip Flush capacity	Standard	
Machine size		
Machine height	2,400 mm (94.5")	
Floor space	1,850 mm (72.8")(W) x 1,825 mm (71.9")(D)	
weight	2,500 kgs (5500Lbs)	
Power source		
Electrical power supply	15 KVA/3PH, 220V 50/60HZ	
Compressed air supply	6.0 kgf/cm <sup>2</sup> (85psi) (0.6MPa)	
Weight	2500 kgs (5500 Lbs)	
Controller		
	FANUC / HEIDENHAIN / SIEMENS	



#### Lampiran 4. Spesifikasi CNC Retrofit Lab Inovasi

MODEL	Retrofit
<b>Travel</b>	
X-Axis	610 mm(24")
Y-Axis	350 mm / 400 mm OP
Z-Axis	460 mm(18.1")
Spindle nose to table	70 - 530 mm(2.8-20.9")
<b>Table</b>	
Table size	700 mm x 308 mm(27.6-12.1") / 700 x 350 mm (27.6-13.78") OP
Floor to table	835 mm(32.9")
Max. table loading capacity	350 kgs(770Lbs)
T-slot (no x Width x Pitch)	4/5(OP) x 16mm x 63.5 mm ( 4/5(OP) x 0.6 x 2.5" )
Spindle center to column	415 mm(16.3")
<b>Feed system</b>	
Rapid traverse speed	X/Y: 20 M/min ( 787.4"/min) , Z:18 M/min (708.7"/min)
Feed motor(FANUC)	X/Y: 1.2kW (8Nm) , Z: 1.8kW (12Nm)
Ball screw diameter & pitch	32 mm / 10mm (1.3" / 0.4")
Cutting feedrate	1-10,000 mm/min (0.04 - 393.7")
Type of transmission	Direct Drive
<b>Spindle</b>	
Type of tool shank	BT 40 / CAT 40 / DIN 69871A
Max. spindle speed	8,000 rpm / 10,000 rpm (Op)
Spindle motor	5.5 / 7.5 kW / 7.5 / 11 kW (Op)
Type of transmission	Belt

<b>Coolant system</b>	
Coolant tank size	160 L
Coolant capacity	150 L / min
Chip Flush capacity	Standard
<b>Machine size</b>	
Machine height	2,400 mm (94.5")
Floor space	1,850 mm (72.8")(W) x 1,825 mm (71.9")(D)
weight	2,500 kgs (5500Lbs)
<b>Power source</b>	
Electrical power supply	15 KVA/3PH, 220V 50/60HZ
Compressed air supply	6.0 kgf/cm <sup>2</sup> (85psi) (0.6MPa)
Weight	2500 kgs (5500 Lbs)



Lampiran 5. Gambar Mesin CNC First MCV 300



Lampiran 6: Gambar Mesin CNC Retrofit Lab Inovasi





## Lampiran 7. Transkrip Wawancara BPTTG

### Wawancara Pendahuluan

Tanggal : 12 November 2019

Narasumber : Pak Nugroho

Lokasi : Balai Pengembangan Teknologi Tepat Guna Jl. Kusumanegara,  
Kec.

Umbulharjo, Kota Yogyakarta, DIY.

1. Kendala apa saja yang dirasakan BPTTG saat mengerjakan permintaan dari UMKM?

Jawaban Narasumber:

Untuk kendala mesin yang dimiliki sudah lama dan tidak presisi lagi, sehingga yang mengerjakan harus hati-hati dan hanya orang-orang tertentu yang bisa mengerjakan. Disamping itu untuk pekerja yang baru memerlukan waktu lebih untuk mengerjakan permintaan, sehingga waktu pengerjaan melebihi SOP yang ada, dan menyebabkan keluhan dari UMKM.

2. Riset/penelitian apa yang dibutuhkan BPTTG untuk mahasiswa lakukan agar proses produksi dapat menjadi lebih baik?

Jawaban Narasumber:

Untuk memperbaiki proses produksi menyangkut aspek sarana prasarana mesin dengan aspek tingkat keterampilan operator/teknisi mesin. Terkadang mesin rusak, ketika mau menggunakan mesin ternyata rusak, dan salah satu penyebabnya setelah diteliti yaitu maintenance yang tidak pas, nah bagaimana sistem maintenance ini bisa terevaluasi dengan pas. Kalau anda punya motor atau mobil, itu kan mesin ada jadwal perawatan hariannya. Nah buat sistem perawatan itu.

Narasumber



( Nugroho Djati )



3. Kebetulan saya akan melakukan penelitian terkait sistem perawatan di BPTTG. Menurut Pak Nugroho bagaimana?

Jawaban Narasumber:

Saya menyarankan anda untuk meneliti salah satu mesin saja namun diteliti dengan betul dan detail, karena mesinnya ada banyak dari mesin yang canggih seperti CNC sampai mesin yang manual.

4. Menurut Pak Nugroho mesin di BPTTG secara khusus lebih membutuhkan perawatan di mesin yang mana untuk dilakukan penelitian?

Jawaban Narasumber:

Kalau mau teliti mesin CNC di BPTTG karena harga alatnya paling mahal sampai milyaran dan penggunaannya tidak pernah berhenti.

5. Apakah mesin CNC sudah ada jadwal perawatan pergantian partnya?

Jawaban Narasumber:

Biasanya penjadwalan CNC perkiraan, perkiraan besok harus ganti part A atau part B, karena yang pegang mesin CNC satu orang sehingga mengetahui dengan persis kelemahan mesin CNC. Kalau kamu mau buat sistem tersebut bagus, ketika nanti dia pensiun nanti penggantinya sudah mengetahui perawatan CNC.

Narasumber



( Nugroho Djati )

## Lampiran 8. Transkrip Wawancara Lab Inovasi

### LEMBAR WAWANCARA PENELITIAN

Tanggal : 12 November 2020  
Narasumber : Pak Ardona  
Lokasi : Lab Inovasi, Jl. Timoho Gang Sawit No. 7 RT.01 RW. 01,  
NgentakSapen, Papringan, Caturtunggal, Sleman,  
Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

Daftar Pertanyaan :

1	Untuk komponen spindle, tindakannya perawatan biasanya berupa pelumasan, dan beberapa periode sekali melakukan penggantian bearing. Perkiraan saja, berapa lama waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan pelumasan dan perbaikan? Jawaban: 2-3 hari kalau komponen part ready.
2	Untuk komponen Control Unit, tindakan perawatan biasanya berupa pengecekan kelistrikan/kinerjanya. Perkiraan saja, berapa lama waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan pengecekan kelistrikan? Jawaban: 4 jam kalau gak ada masalah.
3	Untuk komponen Slideway, tindakan perawatan biasanya berupa pelumasan, pembersihan rel, dan dilakukan penyesuaian (adjustment) pada gibs nya. Perkiraan saja, berapa lama waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan perawatan? Jawaban: 2-3 hari kalau ada penggantian part. Part yang diganti gibs kalau dovetail/boxways, dan rail & blok kalau pakai linier guide. Kalau perawatan paling 4 jam.
4	Untuk komponen Coolant, tindakan perawatan biasanya berupa pengecekan katup coolant, dan pembersihan pada filter/katup coolant. Perkiraan saja, berapa lama waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan perawatan? Jawaban: 1 hari untuk pembersihan dan penggantian, untuk pembersihannya saja 4 jam.

Yogyakarta, 19 November 2020  
Mengetahui,

  
mekanik — elektronik

( Ardona k )

5	<p>Untuk komponen Bed, tindakan perawatan biasanya berupa pelumasan, dan kalibrasi levelling (ketinggian dari Bed tersebut). Perkiraan saja, berapa lama waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan perawatan?</p> <p>Jawaban: Perawatan membutuhkan waktu 4 jam.</p>
6	<p>Untuk komponen Table, tindakan perawatan biasanya berupa pelumasan, dan kalibrasi axis X dan Y. Perkiraan saja, berapa lama waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melakukan perawatan?</p> <p>Jawaban: Untuk Table 4 jam.</p>
7	<p>Untuk waktu kalibrasinya, masing2 4 jam (bed 4 jam ; table 4 jam) Atau 4 jam itu gabungan antara kalibrasi bed dan table?</p> <p>Jawaban: Kalau kerja team, sekali jalan kita kerjakan paralel</p>

Yogyakarta, 19 November 2020  
Mengetahui,

**LAB INOVASI**  
mekanik — elektronik  
(Andona K.)

## LEMBAR WAWANCARA PENELITIAN

Tanggal : 13 Juli 2020  
Narasumber : Pak Ardona  
Lokasi : Lab Inovasi, Jl. Timoho Gang Sawit No. 7 RT.01 RW. 01,  
NgentakSapen, Papringan, Caturtunggal, Sleman,  
Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

### Daftar Pertanyaan :

1	<p>Apakah Bapak dapat menjelaskan secara singkat mengenai Lab Inovasi?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Lab Inovasi mulai didirikan pada tahun 2008, dan sampai saat ini sudah memiliki 10 pekerja. Kegiatan Lab Inovasi ini yaitu membuat mesin CNC baru, dan hanya melakukan jasa perawatan pada mesin CNC pribadi. Penjualan mesin CNC di Lab Inovasi sudah memiliki konsumen yang tersebar di berbagai kota, bahkan sudah diluar pulau.</p>
2	<p>Apakah jenis mesin CNC yang biasanya dirawat oleh Lab Inovasi?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Perawatan</p> <p>Mesin CNC bubut dan Milling</p>
3	<p>Apakah Lab Inovasi memiliki data historis perawatan pada mesin CNC yang biasa dilakukan perawatan</p> <p>Jawaban:</p> <p>Data historis perawatan kami tidak memiliki, karena perawatan terjadi ketika ada <i>trouble</i> saja. Perawatan rutin yang biasa dilakukan hanya sebatas pengecekan dan pembersihan, tapi juga tidak melakukan pencatatan.</p>
4	<p>Bagaimana prosedur <i>maintenance</i> yang Lab Inovasi lakukan pada mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Mesin harus <i>underpower</i>/dimatikan terlebih dahulu, kemudian dibersihkan supaya tidak konslet, dan dicari tahu problemnya apa. Jika perlu dilakukan</p>

Yogyakarta, 13 Juli 2020  
Mengetahui,

  
mekanik — elektronik

( Ardona k. )

	pergantian, maka diganti. Jika tidak perlu, maka hanya dilakukan pengecekan yang bermasalah.
5	<p>Apakah Lab Inovasi memiliki data historis penggantian komponen pada mesin CNC yang digunakan?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Tidak ada, dikarenakan perbaikan menunggu saat mesin bermasalah, sehingga tidak memiliki <i>scheduled maintenance</i> yang rutin, kecuali ketika oli nya habis, dan itu pun tidak terjadwal sifatnya hanya visual.</p>
6	<p>Bagaimana prosedur pergantian komponen yang Lab Inovasi lakukan pada mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Kalau ada yang rusak dan tidak bisa digunakan dilakukan penggantian. Tidak ada prosedur khusus.</p>
7	<p>Apakah Lab Inovasi memiliki data historis lamanya waktu perbaikan pada komponen mesin CNC yang digunakan?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Tidak mempunyai data historisnya.</p>
8	<p>Apakah Lab Inovasi memiliki data historis biaya perawatan yang dikeluarkan pada mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Tidak ada, karena mesin pribadi dan terkadang komponen yang ingin diganti sudah ada, sehingga tidak perlu membeli.</p>
9	<p>Kapan waktu penggantian yang ideal atau disarankan oleh Lab Inovasi pada komponen <i>spindle</i> mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Sebenarnya tidak ada penggantian ideal, karena setiap mesin bebannya berbeda-beda. Kalau <i>maintenance</i> harus rutin, paling tidak 3 bulan sekali. Sebagai contoh, melakukan pengujian kerusakan <i>bearing</i>. Untuk penggantian tidak dapat ditentukan secara pasti. Jika beban mesin berat (frekuensi penggunaan mesin tinggi), sebaiknya dilakukan penggantian <i>bearing</i> setiap 3 tahun.</p>

Yogyakarta, 13 Juli 2020  
Mengetahui,



( Ardona Is )

10	<p>Apakah mode/jenis kegagalan yang pernah terjadi pada komponen <i>spindle</i> mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Biasanya yang sering terjadi <i>bearing</i> mengalami masalah. Selain itu juga komponen <i>belt</i> yang umur hidupnya pendek, sehingga perlu dilakukan penggantian setiap 1 tahun sekali.</p>
11	<p>Apakah efek kegagalan yang terjadi terhadap mode/jenis kegagalan pada komponen <i>spindle</i> mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan desain yang telah ditetapkan.</p>
12	<p>Kapan waktu pergantian yang ideal atau disarankan oleh Lab Inovasi pada komponen <i>magazine</i> mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Komponen <i>magazine</i> sangat jarang ditemui bagian yang rusak, karena awet. Tindakan yang dilakukan untuk komponen <i>magazine</i>, hanya sebatas pengecekan, dan pelumasan. Biasanya pemeliharaan pada <i>magazine</i>, perlakuannya sama dengan pemeliharaan pada ATC (<i>Automatic Tool Change</i>).</p>
13	<p>Apakah mode/jenis kegagalan yang pernah terjadi pada komponen <i>magazine</i> mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Biasanya terjadi ketika salah posisi dan tertabrak, karena sensor bermasalah atau timingnya tidak tepat.</p>
14	<p>Apakah efek kegagalan yang terjadi terhadap mode/jenis kegagalan pada komponen <i>magazine</i> mesin CNC?</p> <p>Jawaban:</p> <p>Komponen <i>magazine</i> mudah rusak, sehingga saat terjadi kegagalan mesin CNC perlu dimatikan.</p>

Yogyakarta, 13 Juli 2020  
Mengetahui,



( Ardiana R. )



Lampiran 9. Jasa Perbengkelan Mesin CNC

NO	Pekerjaan	Identitas Pekerjaan	Tgl Mulai	Pendapatan
1	Jasa Perbengkelan	CNC Cetakan Lilin	10-Feb-20	Rp 2,000,000.00
2	Jasa Perbengkelan	CNC Repair Flange	13-Feb-20	Rp 1,150,000.00
3	Jasa Perbengkelan	CNC RIP Sheet 2, 3, 4	17-Feb-20	Rp 1,200,000.00
4	Jasa Perbengkelan	CNC Cetakan Timbel	25-Feb-20	Rp 1,300,000.00
5	Jasa Perbengkelan	CNC Headcase	26-Feb-20	Rp 1,800,000.00
6	Jasa Perbengkelan	CNC Part 4	16-Mar-20	Rp 450,000.00
7	Jasa Perbengkelan	CNC Adjuster	24-Mar-20	Rp 1,750,000.00
8	Jasa Perbengkelan	CNC Sambungan Kargo	21-Apr-20	Rp 650,000.00
9	Jasa Perbengkelan	CNC Top dan base plate	11-May-20	Rp 450,000.00
10	Jasa Perbengkelan	CNC Die Metal	24-May-20	Rp 1,050,000.00
11	Jasa Perbengkelan	CNC Plat Lampu	8-Jun-02	Rp 600,000.00
12	Jasa Perbengkelan	CNC Marking	10-Jun-20	Rp 1,200,000.00
13	Jasa Perbengkelan	CNC Ring Washer	18-Jun-20	Rp 1,500,000.00
14	Jasa Perbengkelan	CNC Frame Plate (Komp. Pembuat Kulit Makanan)	23-Jun-20	Rp 1,650,000.00
15	Jasa Perbengkelan	CNC Ejector dan Backing Plate	25-Jun-20	Rp 750,000.00
Total				Rp 17,500,000.00
per hari				Rp 175,000.00